

Si / ポリマーハイブリッド光導波路デバイスの温度無依存化に関する研究

著者	増子 航
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	86
号	1
ページ	132-133
発行年	2017-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00121397

修士学位論文要約（平成29年3月）

Si/ポリマーハイブリッド光導波路デバイスの温度無依存化に関する研究

増子 航

指導教員：山田 博仁， 研究指導教員：北 智洋

Athermal Si/polymer waveguide devices

Wataru MASHIKO

Supervisor: Hirohito YAMADA, Research Advisor: Tomohiro KITA

I studied a method of reducing temperature-dependence of Si waveguide devices by using two kinds of polymer as over-cladding materials, and examined application for high-speed transmission system of the Si/polymer waveguide devices, in temperature range of 30~60 °C. The first polymer material is TiO₂ hybrid polymer, the polymer containing rutile TiO₂ nanoparticles and the TO coefficient can be controlled by changing the TiO₂ concentration. I investigated the TiO₂ nanoparticles concentration dependency on the TO coefficient of the polymer in 1.5 μm wavelength band, and designed the athermal Si waveguide wavelength-filter with the polymer over-cladding. The other is EO polymer, the polymer containing EO chromophores oriented by poling process, shows linear EO effect utilized in high-speed light modulation. I designed the athermal optical modulator consisted of Si/EO polymer waveguide. In consideration of the design results, I estimated the required optical power of the light source in the transmission system.

1. はじめに

近年、シリコンフォトニクスと呼ばれる、光デバイスを駆動用のSi電子回路とともにSOI基板上に集積する技術が盛んに研究されるようになった[1]。埋蔵量が豊富で安価なSiを、Si電子集積回路の分野で成熟した半導体プロセスを利用して加工、製造するため、光デバイスを低価格で量産できる。また、集積する光デバイスの飛躍的な小型化に繋がるとして、Si光導波路デバイスが注目を集めており、多数の通信モジュールが密集するデータセンタ内のLANや大きさなどに厳しい制約が課される車載LANなどの短距離光通信への応用が特に期待されている。

しかし、Si光導波路デバイスの温度依存性の大きさがボトルネックになる。図1に、Si光導波路からなる波長フィルタの透過スペクトルの温度依存性を示す。温度の上昇とともに、ピークが長波長側に大きくシフトしていることがわかる。これは、導波光がTO定数の巨大なSiコアに集中するためである。解決には、Siと逆の温度依存性を持つ材料をクラッドに用い、原因であるSiの巨大なTO定数を補償する方法が一般的である。本研究では、2種類のポリマー材料を上部クラッドに用い、Si光導波路デバイスの温度依存性を30~60 °Cの温度範囲で低減し、また、同デバイス的高速伝送系への応用を検討した。

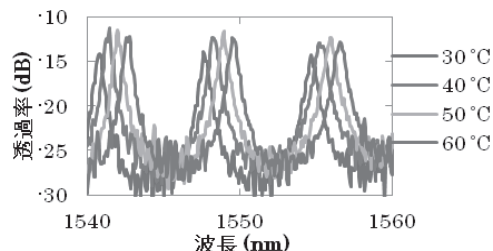


図1 Si光導波路からなる波長フィルタの透過スペクトルの温度依存性

2. 温度無依存な波長フィルタの設計

TiO₂微粒子ポリマーは、ポリマー中にTiO₂微粒子を拡散させたもので、従来使用されてきたTiO₂やポリマー単体とは異なり、TiO₂微粒子濃度によってTO定数の調整が可能である[2]。しかし、この効果は可視光域で確認されたものであり、光通信波長帯における実証は未だ無かった。

そこで本研究では、1.5 μm帯において、同ポリマーが持つTO定数のTiO₂微粒子濃度依存性を、測定を通じて評価した。評価用デバイスとして、Siコア(550 nm×80 nm)、SiO₂下部クラッド及びTiO₂微粒子ポリマー上部クラッドからなる非対称MZ干渉計を試作した。TiO₂微粒子ポリマーはTiO₂微粒子濃度が5.1, 11.2, 20 vol%の3種類を用意した。図2に、測定したTiO₂微粒子濃度11.2 vol%のデバイスの透過スペクトルの温度

依存性を示す。波長シフトは最大で 0.32 nm であり、air-cladding の場合と比較して 1/5 程度に抑えることができた。また、各濃度で、図 2 に示した 5 つのピークの中心波長シフトから TO 定数を見積もった結果を、図 3 に示す。図 3 から、可視光域と同様に 1.5 μm 帯でも、 TiO_2 微粒子濃度によって TO 定数の調整が可能であることがわかる。

次に、 TiO_2 微粒子ポリマーを上部クラッドに用い、Si 光導波路からなる波長フィルタを、TO 効果による損失が 3 dB 以内に収まるように設計した。基本構造は波長選択性の良いリング共振器型とし、バス導波路とリング部の結合効率は一般的な 0.15 とした。また、導波路構造は上記の評価用デバイスと同一にし、ポリマーの TiO_2 微粒子濃度は 11.2 vol% とした。TO 効果による波長シフトは、評価の際に測定した 0.32 nm とした。透過スペクトルのピークの半値半幅が波長シフト 0.32 nm より大きければ、TO 効果による損失が 3 dB 以内となる。そのような周回長を求めるために、ピークの半値半幅とリング周回長との関係を計算したところ、周回長が 94.8 μm 以内であればよいことが分かった。よって、リング周回長を 94.8 μm とした。

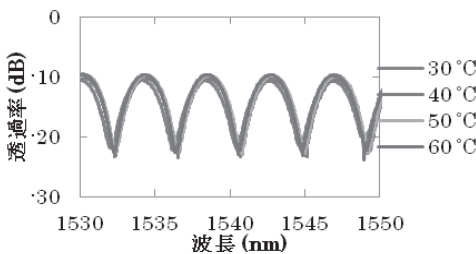


図 2 測定した MZI の透過スペクトルの温度依存性

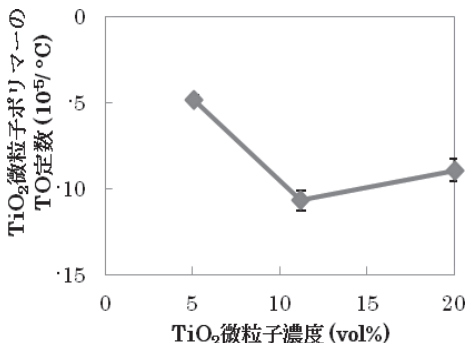


図 3 TiO_2 微粒子ポリマーの TO 定数の TiO_2 微粒子濃度依存性

3. EO リング共振器型変調器の設計

EO ポリマーは、ポリマー中に配向した EO 色素が拡散しているものであり、高速光変調に用いられるポッケルス効果を示す。実用化されている EO 材料よりも電界応答性が大きく、また、変調帯域の制限に繋

がる屈折率の周波数分散も小さい。そして何よりも、他のポリマー材料と同様に負の TO 定数を持つため、Si 導波路デバイスの温度無依存化が可能である。

そこで本研究では、Si/EO ポリマー光導波路からなる光変調器を設計した。駆動電圧は、Si 電子回路から直接供給可能な 1 V とした。駆動電圧の低さを補うため、共振器の基本構造は、透過光強度を変化させやすいリング共振器型とした。リング共振器型の出力は、EO 効果だけでなく、TO 効果によっても大きく変化するため、温度無依存となるように導波路構造を決定した。他のパラメータは、変調の消光比に由来するパワーペナルティと損失との和が最小となるように定めたところ、その和は 6.7 dB となった。

4. 高速伝送系の検討

Si 光導波路デバイスを用いた、25 Gbps の高速変調と 4 波の波長分割多重伝送を併用した、100 Gbps の高速伝送系を検討した。高速変調には Si/EO ポリマー光導波路からなる変調器を、また波長分割多重伝送には Si/ TiO_2 微粒子ポリマー光導波路からなる波長フィルタの使用を想定した。この伝送系が実現可能であることを示すには、光源に要求される発振光強度が一般的な光通信で許容される 13.5 dBm 以下に収める必要がある。Si 光導波路と光ファイバとの結合損失を計 9 dB (3 dB×3 カ所) とし、先述の設計結果をもとにロスバジェットを見積もったところ、18.7 dB となった。さらに、PD の最小受信感度を -9.7 dBm [3] とすると、光源に要求される発振光強度は 9 dBm となり、一般的な光通信に許容される範囲に収まった。

5. まとめ

TiO_2 微粒子ポリマー、及び EO ポリマーを上部クラッドに使い、30~60 °C の温度範囲で、Si 光導波路デバイスの温度依存性が低減するように設計した。その際、 TiO_2 微粒子ポリマーが持つ TO 定数の TiO_2 微粒子濃度依存性について評価したところ、1.5 μm 帯でも TO 定数の調整が可能であることが分かった。また、設計結果をもとに高速伝送系への応用を検討したところ、伝送系に必要な発振光強度を一般的な光通信に許容される範囲内に抑えることができた。

文献

- 1) 馬場俊彦, “シリコンフォトニクスによる次世代光集積とインタコネクション”, 電子情報通信学会誌, 94, pp. 1037-1040, 2011
- 2) Y. Kurata, O. Sugihara, T. Kaino, K. Komatsu, and N. Kambe, J. Opt. Soc. Am. B 26, 2377 (2009).
- 3) Takashi Takemoto, Hiroki Yamashita, Toru Yazaki, Norio Chujo, Yong Lee, Yasunobu Matsuoka, “A 4×25-to-28Gb/s 4.9mW/Gb/s -9.7dBm High Sensitivity Optical Receiver Based on 65nm CMOS for Board-to-Board Interconnects,” ISSCC Dig. Tech. Paper, pp. 118-119 (2013)